

УДК 542.9:546.268.1+547.551.1

А.М.Файнлейб, К.Г.Гусакова, Н.С.Лавренюк

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДИЦИАНОВОГО ЭФИРА БИСФЕНОЛА Е С АНИЛИНОМ

Исучено химическое взаимодействие дицианового эфира бисфенола Е (ДЦБЕ) с анилином при температуре 30 °С. Определены условия и химизм протекания реакции. Методами ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием и ¹Н ЯМР-спектроскопии проанализирован продукт реакции и охарактеризована его химическая структура. Доказано, что в результате взаимодействия ДЦБЕ с первичным ароматическим амином образуется карбамимидат-содержащий продукт.

Ключевые слова: дициановый эфир бисфенола Е, анилин, ИК-спектроскопия, ¹Н ЯМР-спектроскопия, диилбис(4,1-фенилен)бис(фенилкарбамимидат)этан.

ВВЕДЕНИЕ. Одним из перспективных классов полимеров для применения в авиационной, космической технике, электронике и других высокотехнологичных отраслях промышленности являются полицианураты (ПЦ), характеризующиеся высокой термо- и теплостойкостью, высокой адгезией к различным субстратам, низкими значениями диэлектрических потерь и водопоглощения и т.д. Однако широкое практическое использование ПЦ ограничивается их высокой хрупкостью, одним из путей устранения которой является введение в ПЦ-матрицу модифицирующих компонентов (олигомеров, полимеров, наполнителей различной природы и пр.) [1–5]. В последнее время стремительно развивается направление создания наноструктурированных полимерных материалов с нанонаполнителями различной химической природы (наночастицы металлов, слоистые силикаты, фуллерены, углеродные нанотрубки, полиэдральные олигомерные силсесквиоксаны (ПОСС) и т.д.) [3–7]. Эти “наномодификаторы” при синтезе нанокомпозитов на основе густосшитых полимеров, в частности ПЦ, при их низком содержании позволяют улучшать физико-механические, барьерные, электрические, оптические свойства конечных материалов без снижения термической стабильности, химической стойкости и т.д., присущих индивидуальным ПЦ-матрицам [8–10].

Среди множества факторов, влияющих на конечные свойства полимерных нанокомпози-

тов, в том числе на основе густосшитых ПЦ, одним из наиболее значимых является степень диспергирования гидрофильного нанонаполнителя в гидрофобной полимерной матрице [8–12].

Поэтому большинство опубликованных научных работ последних лет в этой области сосредоточено на применении нанонаполнителей с химически (органомодифицированной поверхностью (алкиламмонийные соли, аминокислоты, силаны), что обуславливает улучшение совместимости (сродства) между наполнителем и ПЦ-матрицей и приводит к получению ПЦ-нанокомпозитов с высокой степенью гомогенного диспергирования наполнителя и улучшенными физико-механическими характеристиками [12–20].

В работах [6, 12, 15, 20, 21] исследованы нанокомпозиты на основе ПЦ и аминомодифицированного монтмориллонита (амино-ММТ). Установлено, что при формировании ПЦ нанокомпозитов из дицианового эфира бисфенола А или Е (ДЦБА или ДЦБЕ соответственно) и амино-ММТ наблюдается более гомогенное распределение нанонаполнителя в полимерной матрице (формирование интеркалированного нанокомпозита), по сравнению с использованием немодифицированного ММТ. В результате такой модификации улучшались термические (увеличение температур стеклования и начала деструкции на 15–20 °С) и механические (улучшение прочности на разрыв приблизительно на 63 и 94 %, модуля упругости — на 80 %) свойств синтезированных ПЦ-материалов [17, 22–24].

Обнаруженные изменения авторы объяснили возможным химическим взаимодействием между функциональными группами нанонаполнителя и формирующейся ПЦ-сетки.

Похожие выводы были сделаны позднее при исследовании процесса отверждения цианатных мономеров в присутствии аминифункционализированного ПОСС [25]. Установлен каталитический эффект влияния модифицированного нанонаполнителя на скорость формирования ПЦ-матрицы, в результате чего увеличивалась термическая стабильность, а также снижались показатели диэлектрической проницаемости и водопоглощения синтезированных гибридных ПЦ-содержащих материалов [25].

Впервые реакции взаимодействия цианатных мономеров с аминосоединениями описаны в 1964 году [26]. Было установлено, что при взаимодействии цианата с первичными или вторичными аминами ($T = 80\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$) образуются изокарбамиды и/или эфиры алкил(арил)иминобис-карбамидной кислоты. Авторы работы [27] при исследовании влияния ряда бифункциональных аминов на скорость отверждения ПЦ отметили, что введение алкиламинов в цианатные мономеры приводит к неконтролируемой реакции уже при комнатной температуре с образованием ряда менее реакционноспособных побочных продуктов, снижающих каталитический эффект аминосодержащих реагентов. На примере модельной реакции тетрабутилфенилцианата (моноцианата) с анилином (“моноариламином”) они доказали возможность такого взаимодействия при $T \sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и предположили, что при избытке цианата в реакционной смеси имеют место несколько последовательных и параллельных химических реакций через образование промежуточного продукта — замещенной изомочевины — с формированием арилокси- и арил-аминозамещенных триазинов, изомочевино-, гуанидино- и цианамидосодержащих побочных продуктов.

Также обнаружено [27], что при полициклотримеризации дицианового эфира бисфенола А (ДЦБА) в присутствии различных бифункциональных аминосоединений происходит значительное увеличение скорости отверждения ДЦБА с одновременным сдвигом процесса в более низкотемпературную область (температурный максимум на кинетической ДСК-кривой

отверждения снижается с $\sim 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ для индивидуального ДЦБА до $70\text{--}170\text{ }^{\circ}\text{C}$ для аминосодержащих систем). Показано, что взаимодействие цианатных групп ПЦ мономера и аминогрупп некоторых бифункциональных соединений (при использовании 4,4'-диамино-дифенилсульфида, 1,3-диаминобензоладициандиамида или 4,4'-метилен-бис(3-хлоро-2,6-диэтиланилина) начинается уже при комнатной температуре, однако степень завершенности реакции при данной температуре определить невозможно, так как ДСК-исследования проводились в динамическом режиме нагревания со скоростью $10\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Возможные реакции при взаимодействии моноцианата с анилином представлены в работе [27].

Недавно [28, 29] было впервые сообщено о синтезе нанокомпозитов ПЦ/SiO₂ на основе ДЦБЕ и тетраэтоксисилана, где в качестве реакционноспособного компатибилизатора, ковалентно связывающего органическую (ПЦ) и неорганическую (SiO₂) сетки по реакции цианатных и аминогрупп, применили γ -аминопропилтриметоксисилан. Однако детальных модельных исследований химизма прививки сеток не проводилось.

Для подтверждения химизма взаимодействия дицианового эфира бисфенола с ариламином, выделения и характеристики промежуточного продукта в настоящей работе синтез проводили прикапыванием раствора цианата к раствору анилина. При этом последний в любой момент проведения процесса находился в избытке, что предотвращало дальнейшие возможные химические превращения образовавшегося промежуточного продукта.

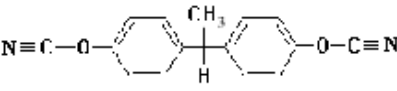
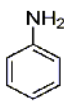
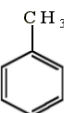
Цель данной работы — изучение химизма взаимодействия дицианатов на примере дицианового эфира бисфенола Е (ДЦБЕ) с органическим аминосодержащим соединением на примере анилина.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. 1,1-Бис(4-цианатофенил)этан (дициановый эфир бисфенола Е, ДЦБЕ, торговая марка ЛЕСу) был предоставлен компанией Lonza, Швейцария. Анилин торговой марки Sigma-Aldrich Chemie GmbH (чистота >99 %) и толуол марки ч.д.а. компании Merck (Германия) использовали без очистки. Химические формулы и некоторые физические свойства этих соединений приведены в табл. 1.

В четырехгорлую колбу, снабженную тер-

Т а б л и ц а 1

Основные физические характеристики использованных компонентов

Компонент	Химическая структура	Физические характеристики
ДЦБЕ		$M \sim 264$ г/моль $T_{\text{пл}} \sim 29$ °С ρ (при 20 °С) = 1.196 г/см ³
Анилин		$M \sim 93$ г/моль $T_{\text{кип}} \sim 184$ °С ρ (при 20 °С) = 1.025 г/см ³
Толуол		$M \sim 92$ г/моль $T_{\text{кип}} \sim 111$ °С ρ (при 20 °С) = 0.867 г/см ³

мометром, делительной воронкой, обратным холодильником, помещали раствор 18.20 мл анилина (0.2 моль) в толуоле и через делительную воронку прикапывали раствор 22.07 мл ДЦБЕ (0.1 моль) в толуоле со скоростью 1 капля/с при температуре 30 °С в среде аргона. Реакционную смесь далее выдерживали при той же температуре и постоянном перемешивании со скоростью 1300 об/мин в течение 1 ч в среде аргона. После окончания процесса раствор охлаждали до комнатной температуры и выдерживали 24 ч. Полноту прохождения химической реакции фиксировали с помощью метода ИК-Фурье-спектроскопии по исчезновению полос поглощения валентных колебаний цианатных групп при 2272—2236 см⁻¹. При этом на дне колбы образовалась вязкая жидкость желто-коричневого цвета. Раствор декантировали, а высадившийся продукт реакции растворяли в изопропиловом спирте, переосаждали из *n*-гептана и сушили в вакууме до постоянного веса. Полученный порошок перекристаллизовывали из изопропилового спирта и сушили в вакуумном шкафу до постоянного веса. Выход — 84 %, $T_{\text{пл}} = 123$ —124 °С.

ИК-Фурье-спектры полученных образцов регистрировали с применением спектрометра Bruker Tensor 37 в области волновых чисел 4000—750 см⁻¹. Для установления химической структуры продукта модельной реакции снимали ¹Н ЯМР-спектры при комнатной температуре с использованием Varian Mercury M 400 BrukerAvance DRX при частоте 400 МГц в ДМСО-*d*₆. В качес-

тве внутреннего стандарта использован тетраметилсилан. Обработка полученных данных и моделирование теоретического ¹Н ЯМР-спектра проведены с помощью известной компьютерной программы ACD/Labs Freeware, версия v.12.0. Максимальная погрешность химических сдвигов $\Delta\delta_{\text{max}}$ при построении теоретического спектра составила ± 0.31 м.д. для СН-групп и ± 1.12 м.д. для NH-групп.

Температура плавления синтезированного продукта была определена с помощью

StuartTM melting point apparatus SMP-10.

Массовую долю выхода продукта рассчитывали по формуле:

$$\eta = \frac{m_{\text{эксп}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100 \%,$$

где $m_{\text{эксп}}$ — масса полученного продукта, а $m_{\text{теор}}$ — масса, рассчитанная по уравнению реакции.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. Для установления химической структуры предполагаемого продукта взаимодействия между цианатными группами дицианового эфира бисфенола Е и аминогруппами анилина были проведены ИК-Фурье-спектральные исследования исходных реагентов и полученного продукта (рис. 1, 2). Так, на ИК-Фурье-спектре индивидуального ДЦБЕ (рис. 1, кривая 1) присутствует ряд интенсивных полос поглощения, соответствующих валентным колебаниям С–Н-связей в СН₃- и СН-группах (мультиплет в области ~ 2800 —3000 см⁻¹), –О–С≡N- и –С–О–С-связей с максимумами в областях волновых чисел, соответственно, $\nu \sim 2100$ —2400 и $\nu \sim 1135$ —1275 см⁻¹ [1]. Бензольные кольца в структуре ДЦБЕ (табл. 1) проявляются на ИК-Фурье-спектре пиками полос поглощения валентных колебаний С–Н- и С=C-связей при $\nu \sim 1502$ и 1603 см⁻¹, а также дублетом в области $\nu \sim 760$ —900 см⁻¹ и максимумом при ~ 1015 см⁻¹, характеризующими внеплоскостные и плоскостные деформационные колебания С–Н-связей бензольного кольца (рис. 1, табл. 2) [1, 30].

На ИК-Фурье-спектре анилина (рис. 1, кри-

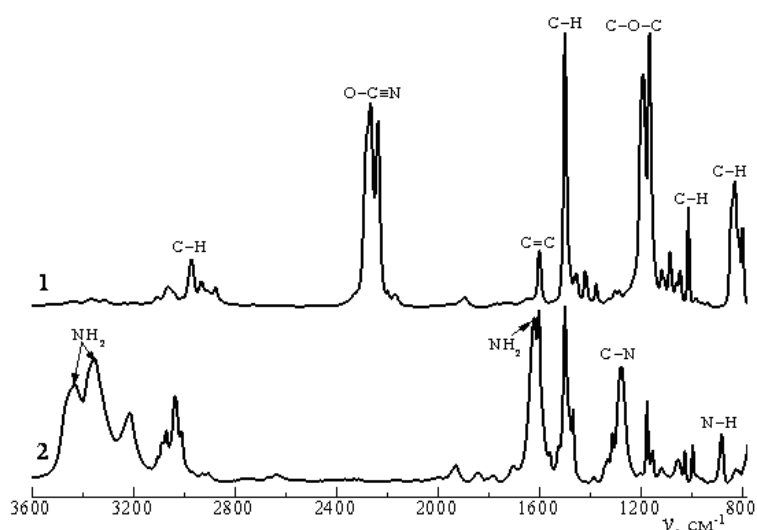


Рис. 1. ИК-Фурье-спектры исходных компонентов:
1 — ДЦБЕ; 2 — анилин.

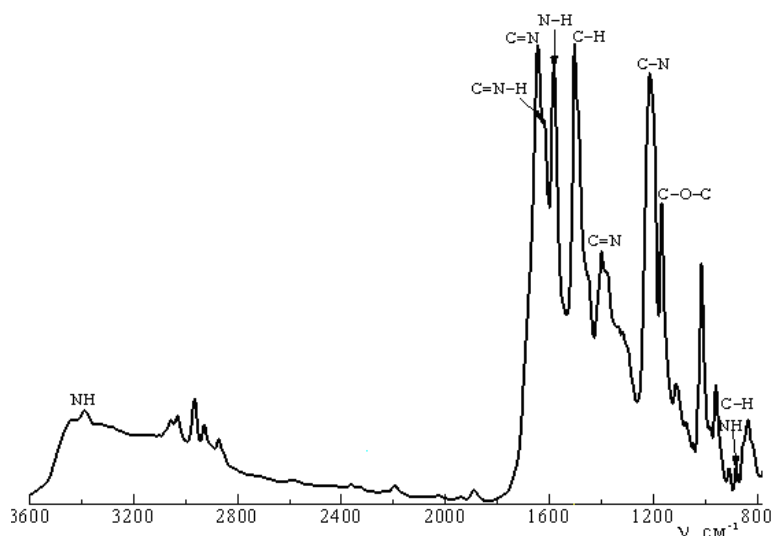


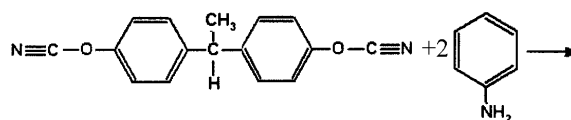
Рис. 2. ИК-Фурье-спектр продукта взаимодействия
ДЦБЕ и анилина.

вая 2) наиболее интенсивными и характеристическими являются дублет поглощения валентных колебаний N–H связей в NH₂-группах при $\nu \sim 3433$ и ~ 3360 см⁻¹, полоса поглощения с максимумом при ~ 1622 см⁻¹, соответствующая деформационным колебаниям NH-групп первичных аминов и пик валентных колебаний C–N-связей с максимумом при ~ 1279 см⁻¹ [30]. Бензольные кольца в структуре анилина, как и в индивидуальном ДЦБЕ, проявляются аналогичными колебаниями C=C- и C–H-групп при, соответственно, ~ 1603 и 1500 см⁻¹ (рис. 1, табл. 2) [1, 30].

Сравнительный анализ ИК-Фурье-спектров продукта взаимодействия (рис. 2) и индивидуальных ДЦБЕ и анилина (рис. 1) показал отсутствие полос поглощения цианатных групп ДЦБЕ (дублет с максимумами ~ 2232 — 2266 см⁻¹) в спектре продукта и существенное изменение формы его спектра (по сравнению со спектром анилина) в области волновых чисел $\nu \sim 3600$ — 3150 см⁻¹ с образованием одного максимума валентных колебаний N–H-групп, что характерно для вторичных аминов. Исходя из этого, можно заключить, что реакция взаимодействия действительно происходит и именно по NH₂-группам анилина и –O–C≡N-группам ДЦБЕ. А отсутствие полос поглощения –O–C≡N-групп свидетельствует об их полном израсходовании в процессе синтеза, то есть можно сделать вывод, что данная реакция прошла полностью.

Одновременно с этим на ИК-Фурье-спектре продукта реакции присутствует интенсивная полоса поглощения с максимумом при $\nu \sim 1582$ см⁻¹, относящаяся к деформационным колебаниям NH-групп, которая отсутствует в спектре анилина, а также зафиксировано появление новых полос валентных колебаний C=N-связей с максимумами при $\nu \sim 1643$ и ~ 1397 см⁻¹ (табл. 2). Кроме того, наблюдается существенный сдвиг положения максимума (на ~ 66 см⁻¹) валентных колебаний C–N-групп анилина и перераспределение интенсивностей мультиплета в области ~ 1050 — 1270 см⁻¹ ДЦБЕ, что свидетельствует об их химическом взаимодействии [30].

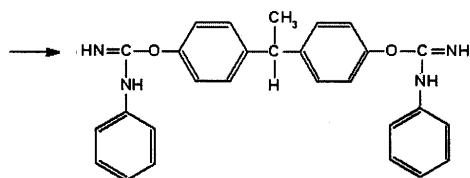
Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что реакция между ДЦБЕ и анилином проходит следующим образом с образованием диилбис(4,1-фенилен)бис(фенилкарбамидат)этана (ДФФКИЭ):



Т а б л и ц а 2

Идентификация основных полос поглощения ДЦБЕ, анилина и продукта их взаимодействия в средней ИК-области

Тип колебания (связь)	Волновое число, см ⁻¹		
	ДЦБЕ	Анилин	Продукт
ν (N–H)	—	3360, 3433	3388
ν (C–H)	2972, 2933, 2877	—	2965, 2930, 2872
ν (O–C≡N)	2232, 2266	—	—
ν (C=N)	—	—	1644, 1397
δ (N–H)	—	1622	1619, 1582
ν (бенз.)	1603, 1502	1603, 1500	1603(сл.), 1502
ν (C–N)	—	1279	1213
ν (C–O–C)	1193, 1167	—	1193, 1167
δ (C–H) бензольного кольца	1015	998	1012
	831	826	835



Для подтверждения полученных данных ИК-Фурье-спектроскопии и предложенного химизма реакции были проведены ¹H ЯМР-спектральные исследования. Исходя из уравнения реакции (схема) с помощью компьютерной программы ACD/Labs Freeware, версия v.12.0, был построен теоретический ¹H ЯМР-спектр продукта ДФФКИЭ (рис. 3, а). Пики 1 и 2 на смоделированном ¹H ЯМР-спектре предполагаемой структуры продукта взаимодействия ДЦБЕ и анилина соответствуют колебаниям Н-атомов в группах –NH– и –C=NH–. Проявление Н-атомов в группах СН бензольных колец, СН- и СН₃-групп фрагмента бисфенола Е зафиксированы, соответственно, в области ~7.50–7.00 м.д. (пики 3–7), при ~3.55 (пик 8) и 1.38 м.д. (пик 9).

Сравнительный анализ смоделированного (рис. 3, а) и экспериментального (рис. 3, б) ¹H ЯМР-спектров образца ДФФКИЭ показал определенное совпадение

количества, расположения и интенсивности пиков. Так, на экспериментальном ¹H ЯМР-спектре (б) наблюдаются 2 пика с максимумами ~8.75 и 9.20 м.д., которые относятся к колебаниям Н-атомов, соответственно, в –C=NH- и –C–NH-группах. При этом положение атомов Н в группах СН бензольных колец, СН- и СН₃-групп фрагмента бисфенола Е (рис. 2) зафиксированы в области ~6.60–7.50 м.д. (рис. 3, б, пики 3–7), при ~3.91 (пик 8) и 1.47 м.д. (пик 9). Полученные результаты согласуются с литературными данными [15, 31, 32]. Определенное смещение всех полос в экспериментальном спектре по сравнению с результатами ¹H ЯМР спектральных исследований, приведенных в работе [15], связаны с использованием ДМСО в качестве растворителя (вместо CDCl₃) [32], а незначительные отклонения химических сдвигов по отношению к смоделированному ¹H ЯМР-спектру (рис. 3, а) обусловлены присутствием и количеством таких электроотрицательных заместителей, как N и O,

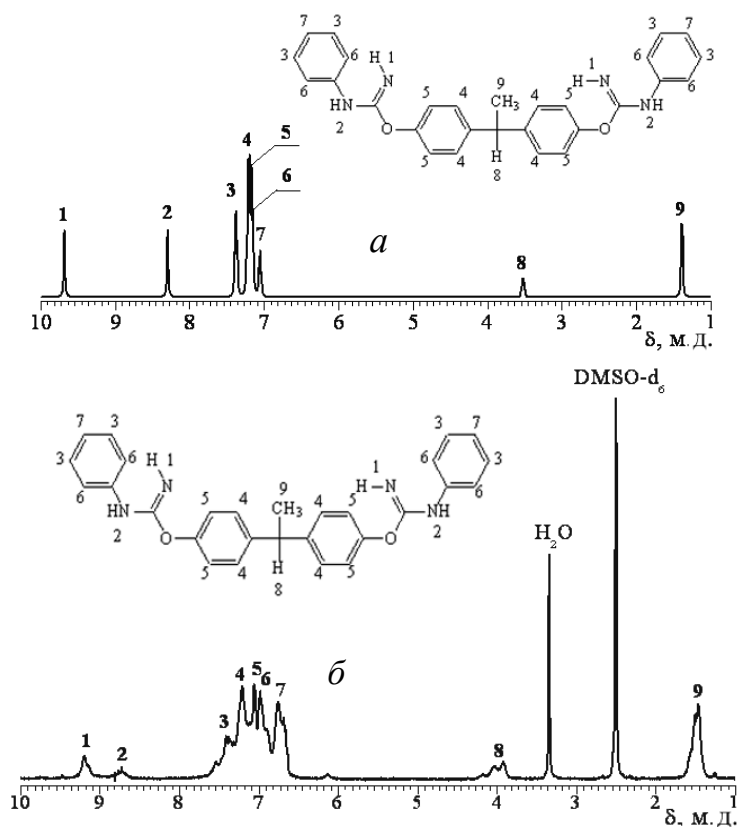


Рис. 3. Теоретический (а) и экспериментальный (б) ¹H ЯМР-спектры ДФФКИЭ.

расположение и “окружение” которых в системе существенно влияет на положение химических сдвигов на ^1H ЯМР-спектре [32]. Полученные результаты полностью согласуются с данными ИК-спектральных исследований.

Таким образом, можно заключить, что при определенных условиях (перемешивание в течение 1 ч при 30°C в среде аргона) имеет место химическое взаимодействие функциональных групп ДЦБЕ и анилина. При этом химизм взаимодействия полностью соответствует предложенной схеме с образованием диилбис(4,1-фенилен)бис-(фенилкарбамимидат)этана (ДФФКИЭ). Исчезновение полос поглощения $\text{O}-\text{C}\equiv\text{N}$ -групп ДЦБЕ и появление деформационных колебаний $\text{C}=\text{N}$ - и NH -групп на ИК-Фурье-спектре продукта ДФФКИЭ, а также данные ^1H ЯМР-спектроскопии свидетельствуют о том, что эта реакция проходит полностью. Полученные результаты могут быть использованы для подтверждения факта химической прививки аминифункционализированных нанопополнителей к полимерной матрице полицианурата, в том числе на стадии диспергирования аминифункционализированных нанопополнителей различной природы в цианатных мономерах при низких температурах.

РЕЗЮМЕ. Изучено химическое взаимодействие реакционноспособных групп дицианового эфира бисфенола Е и анилина с образованием диилбис(4,1-фенилен)бис(фенилкарбамимидат)этана. Химическая структура продукта реакции определена с помощью методов ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием и ^1H ЯМР-спектроскопии. Установлено, что при проведении эксперимента при 30°C в течение 1 ч выход продукта составляет 84 %. Полученный продукт может быть использован как модель фрагмента прививки аминифункционализированных нанопополнителей различной природы к полициануратной сетке при синтезе нанокомпозитов, в том числе методом золь-гель.

Ключові слова: дициановий естер бісфенолу Е, анілін, ІЧ-спектроскопія, ^1H ЯМР-спектроскопія, діілбис(4,1-фенілен)бис(фенілкарбамімідат)етан.

SUMMARY. The present work discloses the chemistry of interaction between the reactive groups of dicyanate ester of bisphenol E and aniline resulting in generation of diylbis(4,1-phenylene)bis(phenylcarbami-

midate)ethane. Chemical structure of the reaction product has been confirmed using FTIR and ^1H NMR spectroscopies. The yield of the product around 84 % after synthesis carried out at 30°C for 1 h has been found. The resulting product can be used as a model of grafting fragment of amino-functionalized nanofillers of different nature to polycyanurate network during synthesis of nanocomposites including sol-gel technique.

Keywords: dicyanate ester of bisphenol E, aniline, FTIR-spectroscopy, ^1H NMR-spectroscopy, diylbis(4,1-phenylene)bis(phenylcarbamiimidate)ethane.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chemistry and technology of cyanate ester resins* / Ed. I.Hamerton. -Glasgow: Chapman & Hall, 1994.
2. *Nair C.P.R., Mathew D., Ninan K.N.* // *Adv. Polym. Sci.* -2000. -**155**. -P. 1—99.
3. *Mikitaev A.K., Kozlov G.V., Zaikov G.E.* *Polymer nanocomposites: variety of structural forms and applications.* -New York: Nova Science Publ., 2008.
4. *Chang J.Y., Hong J.L.* // *Polymer.* -2001. -**42**, № 4. -P. 1525—1532.
5. *Sahoo N.G., Rana S., Cho J.W. et al.* // *Prog. Polym. Sci.* -2010. -**35**, № 7. -P. 837—867.
6. *Pan Y., Xu Y., An L. et al.* // *Macromolecules.* -2008. -**41**, № 23. -P. 9245—9258.
7. *Cho H., Liang K., Chatterjee S., Pittman C.U. Jr.* // *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* -2006. -**15**, № 4. -P. 541—553.
8. *Kowalczyk K., Szychaj T.* // *Surf. Coat. Tech.* -2009. -**204**. -P. 635—641.
9. *Zhang H.L., Yu J.Y., Xue L.H., Li Z.C.* // *J. Microsc.* -2011. -**244**, № 1. -P. 85—91.
10. *Huskic M., Brnardic I., Zigon M., Ivankovic M.* // *J. Non-Cryst. Solids.* -2008. -**354**, № 28. -P. 3326—3331.
11. *Lagashetty A., Venkataraman A.* // *Resonance.* -2005. -**7**. -P. 49—60.
12. *Singla P., Mehta R., Upadhyay S.* // *Green Sustainable Chem.* -2012. -**2**. -P. 21—25.
13. *Nour M.A.* // *Polymery.* -2002. -**47**. -P. 326—331.
14. *Lin Y., Song M., Stone C.A., Shaw S.J.* // *Thermochim. Acta.* -2013. -**552**. -P. 77—86.
15. *Kissounko D.A., Deitzel J.M., Doherty S.P. et al.* // *Eur. Polym. J.* -2008. -**44**, № 9. -P. 2807—2819.
16. *Wooster T.J., Abrol S., MacFarlane D.R.* // *Polymer.* -2004. -**45**, № 23. -P. 7845—7852.
17. *John B., Nair C.P.R., Ninan K.N.* // *Mater. Sci. Eng., A.* -2010. -**527**, № 21—22. -P. 5435—5443.
18. *Wooster T.J., Abrol S., MacFarlane D.R.* // *Polymer.* -2005. -**46**, № 19. -P. 8011—8017.
19. *Mondragon C., Solar L., Nohales A. et al.* // *Ibid.* -2006. -**47**, № 10. -P. 3401—3409.
20. *Bergaya F., Lagaly G.* // *Appl. Clay Sci.* -2001. -**19**. -P. 1—3.

21. Микитаев А.К., Каладжян А.А., Леднев О.Б. // Пласт. массы. -2004. -**12**. -С. 45—50.
22. Ray S.S., Okamoto M. // Prog. Polym. Sci. -2003. -**28**. -P. 1539—1641.
23. Ganguli S., Dean D., Jordan K. et al. // Polymer. -2003. -**44**, № 4. -P. 1315—1319.
24. Kim D.S., Lee K.M. // J. Appl. Sci. -2003. -**90**, № 10. -P. 2629—2633.
25. Zhang Z., Liang G., Wang X. et al. // High Perform. Polym. -2013. -**25**. -P. 427—435.
26. Grigat E., Putter R. // Chem. Ber. -1964. -**97**, № 11. -P. 3027—3035.
27. Bauer J., Bauer M. // Macromol. Chem. Phys. -2001. -**202**. -P. 2213—2220.
28. Jothibasu S., Ashok Kumar A., Alagar M. // High Perform. Polym. -2011. -**23**. -P. 11—21.
29. Devaraju S., Vengatesan M.R., Selvi M. et al. // RSC Adv. -2013. -**3**, № 31. -P. 12915—12921.
30. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул. -М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
31. Еркин А.В., Рамзи С.М. // Хим. гетероцикл. соединений. -2014. -**8**. -С. 1196—1200.
32. Reich H.J. Chem 605 – Structure determination using NMR. 5.2 Chemical Shift. -2015. -Режим доступа: <http://www.chem.wisc.edu/areas/reich/nmr/>

Институт химии высокомолекулярных соединений
НАН Украины, Киев

Поступила 18.06.2015